发酵白酒糟对育肥猪血浆生化参数和抗氧化指标的影响

张旺宏[1,2]　李华伟[1]　祝　倩[1,2]　黎智华[1]　程润喜[3]　孔祥峰[1*]

（1.中国科学院亚热带农业生态研究所，亚热带农业生态过程重点实验室，动物营养生理与代谢过程实验室，畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室，长沙 410125；2.中国科学院大学，北京 100049；3.路德生物环保技术（古蔺）有限公司，泸州 646509）

摘　要：为了探讨发酵白酒糟在育肥猪饲粮中添加的可行性，本试验比较研究了不同比例的发酵茅台酒糟（FML）替代基础饲粮对育肥猪血浆生化参数和抗氧化指标的影响。试验选用平均体重为（39.95±2.15） kg 的杜×长×大三元杂交去势公猪 48 头，根据体重随机分为 4 组，每组 12 个重复，每个重复 1 头猪，饲喂于自动饲喂系统中。对照组饲喂基础饲粮，试验组用 FML 分别替代 5%、10%和 15%的基础饲粮。于试猪平均体重达 60、75 和 110 kg 时，每组随机选取 8 头，前腔静脉采血，离心分离血浆，测定生化参数和抗氧化指标。结果显示：体重为 60 kg 时，与对照组相比，5%替代组血浆低密度脂蛋白–胆固醇（LDL-C）含量和α–淀粉酶（α-AMY）活性显著升高（P<0.05），血浆丙氨酸氨基转移酶（ALT）活性显著降低（P<0.05）；10%替代组血浆α-AMY 活性显著升高（P<0.05），血浆葡萄糖（GLU）含量和 ALT 活性显著降低（P<0.05）；15%替代组血浆甘油三酯（TG）含量、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性和谷胱甘肽（GSH）含量显著升高（P<0.05），血浆丙二醛（MDA）含量显著降低（P<0.05）。体重为 75 kg 时，与对照组相比，5%替代组血浆 LDL-C 含量和过氧化氢酶（CAT）活性显著升高（P<0.05），血浆高密度脂蛋白–胆固醇（HDL-C）含量显著降低（P<0.05）；10%替代组血浆 LDL-C 含量及 CAT 和 GSH-Px 活性显著活性升高（P<0.05），血浆天门冬氨酸氨基转移酶（AST）和乳酸脱氢酶（LDH）活性显著降低（P<0.05）；15%替代组血浆 CAT、超氧化物歧化酶（SOD）和 GSH-Px 活性显著升高（P<0.05），血浆 UN、HDL-C、GLU 含量以及α-AMY、AST 和 LDH 活性显著降低（P<0.05）。体重为 110 kg 时，与对照组相比，5%替代组血浆 ALT 活性显著降低（P<0.05），血浆α-AMY 活性显著升高（P<0.05），血浆 UN 含量显著降低（P<0.05）；10%和 15%替代组血浆总蛋白含量显著增加

收稿日期：2018－02－06

基金项目：长沙市科技计划重大专项（kq1703007）；路德生物环保技术有限公司合作项目；中央驻湘科研机构技术创新发展专项（2013TF3006）

作者简介：张旺宏（1994—），男，云南景东人，硕士研究生，从事单胃动物营养研究。E-mail: zwhzdk@126.com

*通信作者：孔祥峰，研究员，博士生导师，E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

（$P<0.05$），血浆 UN 含量和 ALT 活性显著降低（$P<0.05$）；15%替代组血浆 AST 活性显著降低（$P<0.05$）。综上所述，饲粮添加 FML 可改变育肥猪的机体代谢和抗氧化能力，其作用效果与替代量有关；其中，15%替代可显著改善 75 和 110 kg 育肥猪的机体氮代谢能力，增强 60 kg 育肥猪的机体抗氧化能力。

关键词：酵母发酵；茅台酒糟；血浆生化参数；抗氧化指标；育肥猪

中图分类号：S816.6　　文献标识码：A　　文章编号：

开发新型饲料资源、提高现有饲料资源的利用效率是解决我国饲料资源短缺的有效途径。白酒糟是我国丰富的糟渣类饲料资源之一，每年约产生 600 万 t 的干酒糟[1]。白酒糟中含有大量的粗蛋白质、粗脂肪、钙和磷等营养成分，以及丰富的微生物发酵产物[2-3]。科学合理地利用这些糟渣类饲料资源对缓解我国饲料资源短缺和减少环境污染具有重要意义。但由于水分含量高、容易腐败变质、不便于运输以及营养组成不平衡等因素，鲜酒糟直接饲喂难以被畜禽消化吸收，其营养物质利用率低[4]。近年来研究证实，微生物能够利用酒糟中的淀粉、糖类、纤维素等物质转化为自身代谢产物，如寡糖、短链脂肪酸和维生素等，同时产生脂肪酶、蛋白酶及纤维素酶等，从而提高酒糟的消化利用率[5-6]。例如，利用混合菌种发酵酒糟，可使其粗蛋白质含量提高 65.75%，粗纤维和单宁含量分别降低 49.87%和 72.00%[7]；利用酵母菌发酵白酒糟可提高其总能、粗蛋白质和多种氨基酸的含量[3]。茅台酒是世界著名的白酒之一，其酒糟的年产量约为 11 万 t[8]。有关发酵白酒糟的营养价值及其对畜禽的饲喂效果等方面的研究较多，但未见有关发酵茅台酒糟用作猪饲料原料的报道。笔者前期研究表明，用发酵茅台酒糟（FML）部分替代基础饲粮对育肥猪的生长性能、胴体性状和肉品质不会产生不利影响，其中添加 5%的 FML 可显著增加育肥猪平均日增重，显著降低料重比。为了进一步探讨其作用机制，本文研究了 FML 替代不同比例的基础饲粮对育肥猪血浆生化参数和抗氧化指标的影响，为其在养猪生产中的推广应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　FML 的制备

FML 由路德生物环保技术（古蔺）有限公司提供。其生产工艺如下：以茅台酒糟为培养基，接种高活性酵母菌种，采用三段式纯固态发酵工艺制备 FML。第一阶段优化培养条件促进酵母菌增殖；第二阶段在厌氧条件下保证酵母的充分代谢，分泌代谢产物；第三阶段在高温高湿的条件下促使酵母细胞破壁自溶水解。经测定，FML 中以干物质（含量为 92.97%）为基础的养分水平如下：粗灰分 9.28%、粗蛋白质 23.96%、粗脂肪 5.39%、粗纤维 17.67%、酸性洗涤纤维 38.0%、中性洗涤纤维 47.28%、钙 0.53%、磷 0.55%和总能 18.29 MJ/kg。

1.2　试验动物分组与饲养管理

动物试验在中国科学院亚热带农业生态研究所永安动物实验基地开展。试验选取平均体重为（39.95±2.15） kg 的健康杜×长×大三元杂交去势公猪 48 头，根据体重随机分为 4 组，每组 12 个重复，每个重复 1 头猪，饲养于 HHIS-02 型全自动饲喂系统（河南河顺自动化设备有限公司）中。对照组饲喂基础饲粮，试验组用 FML 分别替代 5%、10%和 15%的基础饲粮。基础饲粮的营养标准符合 NRC（2012）推荐量，其组成及营养水平见表 1。试验过程中，全自动饲喂系统实时记录每头试猪的日采食量和日增重等数据。饲喂、饮水、采光和免疫等饲养管理按养殖场规范操作。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	40~75 kg 阶段 Phase of 40 to 75 kg	76~110 kg 阶段 Phase of 76 to 110 kg
原料 Ingredients		
玉米 Corn	61.10	61.17
大麦 Barley	8.00	8.00
豆油 Soybean oil	1.50	1.00
豆粕 Soybean meal	25.00	25.50
赖氨酸 Lys	0.18	0.13
蛋氨酸 Met	0.03	
苏氨酸 Thr	0.07	0.08
抗氧化剂 Antioxidant	0.02	0.02
防霉剂 Antimildew agent	0.10	0.10
预混料 Premix1)	4.00	4.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)		
消化能 DE/(MJ/kg)	13.78	13.65
粗蛋白质 CP	16.40	16.50
粗脂肪 EE	4.30	3.80
赖氨酸 Lys	1.08	1.05
蛋氨酸 Met	0.30	0.28

苏氨酸 Thr	0.71	0.73
钙 Ca	0.74	0.66
总磷 TP	0.52	0.45

1)预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following for per kg the diets：Cu (as copper sulfate) 10 mg，Fe (as iron sulfate) 100 mg，Se (as sodium selenite) 0.30 mg，Zn (as zinc oxide) 100 mg，Mn (as manganese oxide) 10 mg，VD_3 386 IU，VA 3 086 IU，VE 15.4 IU，VK 2.3 mg，VB_2 3.9 mg，VB_{12} 15.4 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 15.4 mg，烟酸 niacin acid 23 mg。

2)营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 样品采集与处理

分别于试猪平均体重达 60、75 和 110 kg 时，每组随机选取 8 头试猪，清晨空腹称重，前腔静脉采血 10 mL，肝素抗凝，3 000 r/min 离心 10 min，分离血浆，分装于 1.5 mL EP 管中，－20 ℃保存，用于血浆生化参数和抗氧化指标的测定。

1.4 血浆生化参数和抗氧化指标测定

血浆样品于 4 ℃解冻后，按试剂盒（Beckman 公司）说明，采用 CX4 型全自动生化分析仪（美国 Beckman 公司）测定血浆中总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、尿素氮（UN）、葡萄糖（GLU）、甘油三酯（TG）、总胆固醇（CHO）、高密度脂蛋白–胆固醇（HDL-C）、低密度脂蛋白–胆固醇（LDL-C）含量以及乳酸脱氢酶（LDH）、α–淀粉酶（α-AMY）、天门冬氨酸氨基转移酶（AST）和丙氨酸氨基转移酶（ALT）活性。按照试剂盒（南京建成生物工程研究所）说明，检测血浆中过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性以及谷胱甘肽（GSH）和丙二醛（MDA）的含量。

1.5 数据统计与分析

试验数据以“平均值±标准误”表示，数据用 Excel 2010 初步整理后，利用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析（one-way ANOVA），并用 Duncan 氏法对各组数据平均值进行多重比较。$P<0.05$ 表示差异显著，$0.05 \le P<0.10$ 表示有变化趋势。

2 结果与分析

2.1 FML 对育肥猪血浆生化参数的影响

由表 2 可知，在体重 60 kg 时，与对照组相比，5%替代组血浆 LDL-C 含量和α-AMY 活性显著升高（$P<0.05$），血浆 ALT 活性显著降低（$P<0.05$）；10%替代组血浆α-AMY 活性显

著升高（P<0.05），血浆 GLU 含量和 ALT 活性显著降低（P<0.05），血浆 HDL-C 含量呈降低趋势（P=0.059）；15%替代组血浆 TG 含量显著增加（P<0.05）。与 5%替代组相比，10%替代组血浆 LDL-C 含量显著降低（P<0.05），血浆 CHO 含量呈降低趋势（P=0.056）；15%替代组血浆 LDL-C 含量呈降低趋势（P=0.066），血浆α-AMY 活性显著降低（P<0.05）。与 10%替代组相比，15%替代组血浆 GLU 含量显著增加（P<0.05），血浆α-AMY 活性显著降低（P<0.05）。

在体重 75 kg 时，与对照组相比，5%替代组血浆 LDL-C 含量显著增加（P<0.05），血浆 HDL-C 含量显著降低（P<0.05）；10%替代组血浆 LDL-C 含量显著增加（P<0.05），血浆 AST 和 LDH 活性显著降低（P<0.05）；15%替代组血浆 UN、HDL-C、GLU 含量以及α-AMY、AST 和 LDH 活性显著降低（P<0.05），血浆 ALB 含量呈增加趋势（P=0.077）。与 5%替代组相比，10%替代组血浆 UN 含量呈降低趋势（P=0.064），血浆 AST 和 LDH 活性显著降低（P<0.05）；15%替代组血浆 UN、LDL-C 含量以及α-AMY、AST 和 LDH 活性显著降低（P<0.05），血浆 CHO 含量呈降低趋势（P=0.052）。与 10%替代组相比，15%替代组血浆 UN 和 CHO 含量和α-AMY 活性显著降低（P<0.05）。

在体重 110 kg 时，与对照组相比，5%替代组血浆 UN 含量显著降低（P<0.05），血浆α-AMY 活性显著升高（P<0.05），血浆 ALT 活性显著降低（P<0.05）；10%替代组血浆 UN 含量和 ALT 活性均显著降低（P<0.05），血浆 AST 活性呈降低趋势（P=0.054），血浆 TP 显著增加（P<0.05）；15%替代组血浆 UN 含量以及 AST 和 ALT 活性显著降低（P<0.05），血浆 TP 和 ALB 含量显著增加(P<0.05)。与 5%替代组相比，10%替代组血浆 UN 含量和α-AMY 活性显著降低（P<0.05），血浆 TG 含量呈降低趋势（P=0.057）；15%替代组血浆 UN 含量和α-AMY 活性显著降低（P<0.05），血浆 GLU（P=0.083）含量以及 AST（P=0.080）和 ALT（P=0.094）活性呈降低趋势，血浆 TP 和 ALB 含量显著增加（P<0.05）。与 10%替代组相比，15%替代组血浆 ALB 含量呈增加趋势（P=0.091）。

表 2　FML 对育肥猪血浆生化参数的影响

Table 2　Effects of FML on plasma biochemical parameters of finishing pigs

项目 Items	体重 Body weight/kg	对照组 Control group	FML 替代组 FML substituted groups		
			5%	10%	15%
总蛋白 TP/(g/L)	60	55.74±1.42	56.74±1.53	57.66±1.47	59.27±1.78
	75	54.08±2.33	56.50±2.22	57.43±2.00	58.30±2.10

	110	70.16±1.06^{c}	72.54±1.99^{bc}	74.49±0.82^{b}	79.89±1.36^{a}
	60	29.80±1.52	29.93±0.70	31.09±0.87	32.66±1.79
白蛋白 ALB/(g/L)	75	30.75±1.04	31.40±0.42	32.25±0.25	33.30±1.56
	110	35.93±0.46^{b}	36.01±0.84^{b}	37.78±0.88^{ab}	38.40±0.58^{a}
	60	3.61±0.29	3.56±0.40	3.85±0.15	3.24±0.36
尿素氮 UN/(mmol/L)	75	4.27±0.19^{a}	4.81±0.12^{a}	4.32±0.12^{a}	3.45±0.24^{b}
	110	6.56±0.11^{a}	5.81±0.12^{b}	5.52±0.07^{c}	5.36±0.07^{c}
	60	3.66±0.21^{a}	3.26±0.21^{ab}	3.02±0.18^{b}	3.69±0.16^{a}
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	75	3.73±0.19^{a}	3.39±0.17^{ab}	3.52±0.09^{ab}	3.12±0.20^{b}
	110	6.38±0.42	6.95±0.45	5.90±0.28	5.99±0.34
	60	1.36±0.77^{b}	1.90±0.15^{a}	2.10±0.12^{a}	1.41±0.13^{b}
α–淀粉酶 α-AMY/(U/mL)	75	1.81±0.17^{a}	1.86±0.08^{a}	1.93±0.10^{a}	1.45±0.04^{b}
	110	1.81±0.05^{b}	2.13±0.09^{a}	1.84±0.04^{b}	1.88±0.08^{b}
	60	0.58±0.06	0.51±0.05	0.50±0.05	0.50±0.03
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	75	0.45±0.02^{a}	0.47±0.03^{a}	0.35±0.02^{b}	0.38±0.02^{b}
	110	0.69±0.03	0.62±0.04	0.65±0.03	0.62±0.03
	60	0.30±0.03^{b}	0.41±0.06^{ab}	0.45±0.05^{ab}	0.49±0.06^{a}
甘油三酯 TG/(mmol/L)	75	0.32±0.04	0.28±0.02	0.28±0.04	0.27±0.01
	110	0.53±0.02	0.52±0.03	0.44±0.03	0.48±0.04
	60	1.98±0.11	2.11±0.08	1.78±0.08	2.00±0.20
总胆固醇 CHO/(mmol/L)	75	1.79±0.08^{ab}	1.88±0.09^{ab}	1.94±0.05^{a}	1.66±0.07^{b}
	110	2.17±0.06	2.23±0.06	2.09±0.09	2.15±0.08
	60	0.87±0.05	0.76±0.02	0.74±0.02	0.85±0.09
高密度脂蛋白–胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	75	0.81±0.03^{a}	0.68±0.04^{b}	0.74±0.02^{ab}	0.67±0.03^{b}
	110	1.01±0.04	1.00±0.03	0.94±0.04	1.01±0.04
	60	0.94±0.06^{b}	1.23±0.10^{a}	0.88±0.05^{b}	0.99±0.12^{ab}
低密度脂蛋白–胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	75	0.85±0.04^{c}	1.07±0.07^{a}	1.02±0.04^{ab}	0.86±0.07^{bc}
	110	1.17±0.02	1.14±0.03	1.19±0.08	1.12±0.03
天门冬氨酸氨基转移酶	60	42.71±3.99	48.00±6.97	43.71±3.58	40.67±4.10

AST/(U/L)	75	44.83±3.94^{a}	42.50±2.16^{a}	33.67±2.08^{b}	31.83±1.85^{b}
	110	74.63±2.92^{a}	69.63±5.41^{ab}	63.50±4.76^{ab}	58.38±4.00^{b}
丙氨酸氨基转移酶 ALT/(U/L)	60	37.43±1.54^{a}	30.00±2.68^{b}	28.14±1.10^{b}	32.00±3.21^{ab}
	75	34.50±1.89^{a}	31.17±1.66^{ab}	28.33±1.61^{ab}	27.67±3.02^{b}
	110	50.13±2.59^{a}	42.75±2.83^{b}	42.00±1.77^{b}	36.75±2.48^{b}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

Values in the same row with different small superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　FML 对育肥猪血浆抗氧化指标的影响

由表 3 可知，在体重 60 kg 时，与对照组和 5%替代组相比，15%替代组血浆 GSH-Px 活性显著升高（P<0.05），血浆 MDA 含量显著降低（P<0.05）；15%替代组血浆 GSH 含量显著高于对照组（P<0.05）。在体重 75 kg 时，与对照组相比，各替代组血浆 CAT 活性均显著升高（P<0.05）；与对照组和 5%替代组相比，10%替代组和 15%替代组血浆 GSH-Px 活性显著升高（P<0.05），15%替代组血浆 SOD 活性显著高于对照组（P<0.05）。在体重 110 kg 时，与对照组相比，15%替代组血浆 MDA 含量呈降低趋势（P=0.092）。

表 3　FML 对育肥猪血浆抗氧化指标的影响

Table 3　Effects of FML on plasma antioxidant indices of finishing pigs

项目 Items	体重 Body weight /kg	对照组 Control group	FML 替代组 FML substituted groups		
			5%	10%	15%
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	60	11.25±1.47	11.87±2.03	12.09±1.92	12.43±2.07
	75	5.96±0.50^{b}	8.15±0.76^{a}	8.32±0.59^{a}	8.77±0.71^{a}
	110	16.82±2.07	20.90±1.31	21.76±1.69	21.88±1.54
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	60	27.47±1.22	27.57±0.91	28.03±1.12	28.04±1.46
	75	23.67±1.17^{b}	24.80±0.89^{ab}	25.31±0.58^{ab}	27.35±0.66^{a}
	110	24.85±0.68	25.01±0.69	25.50±0.68	25.71±0.50
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	60	79.75±4.55^{b}	84.57±10.60^{b}	97.43±8.68^{ab}	114.24±5.90^{a}
	75	145.36±12.84^{b}	176.18±21.81^{b}	325.98±19.34^{a}	335.85±29.74^{a}
	110	404.66±19.13	421.15±9.10	423.73±17.63	426.91±13.14
谷胱甘肽 GSH/(μmol/L)	60	7.01±1.29^{b}	7.67±0.64^{ab}	9.74±1.14^{ab}	11.51±1.69^{a}

	75	6.18±0.61	6.38±0.35	6.59±0.44	6.49±0.53
	110	4.00±0.31	4.25±0.32	4.38±0.33	4.32±0.22
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	60	3.85±0.46[a]	3.74±0.42[a]	3.45±0.38[ab]	2.52±0.20[b]
	75	2.81±0.63	2.33±0.30	2.17±0.25	2.08±0.12
	110	1.78±0.18	1.66±0.18	1.44±0.07	1.41±0.11

3 讨 论

血浆 TP 和 ALB 含量可反映机体对蛋白质的吸收和代谢状况，同时也可反映机体的免疫状况[9]。血浆 TP 含量升高，提示机体对蛋白质的消化利用增加，有利于机体的生长发育[10]。本试验中，用 FML 替代 10%和 15%的基础饲粮可显著增加 110 kg 育肥猪血浆 TP 含量，且 15%替代组血浆 TP 含量显著高于 10%替代组，提示 FML 可增加育肥猪对饲粮蛋白质的利用，这与王伦学等[11]研究结果一致。UN 作为蛋白质代谢的产物，其含量高低可作为评价蛋白质代谢和饲粮氨基酸平衡的重要指标[12]。血浆 UN 含量降低，说明机体蛋白质合成增加、饲粮蛋白质转化率升高[13]。本试验中，用 FML 替代 15%的基础饲粮显著降低了 75 kg 育肥猪血浆 UN 含量，替代 10%和 15%的基础饲粮可显著降低 110 kg 育肥猪血浆 UN 含量，说明 FML 可增加机体蛋白质合成，其作用效果与猪的生长阶段和添加量有关。原因可能是其中含有丰富的氨基酸和菌体蛋白，这增加了饲粮蛋白质的利用率，从而改善了机体氨基酸平衡。

血浆TG、CHO、HDL-C和LDL-C含量是衡量机体脂质代谢强弱的主要指标。血浆TG含量降低提示脂肪沉积能力减弱；血浆CHO含量可反映机体对脂类的吸收代谢能力；LDL-C将肝脏合成的CHO转运到肝外组织，而HDL-C则把CHO运回肝脏代谢转化为其他物质，从而维持机体内CHO含量的稳定[14]。本试验中，用FML部分替代基础饲粮尤其是15%替代可显著增加60 kg育肥猪血浆TG含量，5%替代可显著增加60 kg育肥猪血浆LDL-C含量；5%和15%替代均可显著降低75 kg育肥猪血浆HDL-C含量，5%和10%替代均可显著增加75 kg育肥猪血浆LDL-C含量；与10%替代相比，15%替代显著降低了75 kg育肥猪血浆CHO含量。这提示FML可改变育肥猪体脂代谢，且作用效果与添加量和添加阶段有关。但上述血浆脂质代谢相关指标的改变对动物机体是不利的，肌肉中上述脂质代谢相关指标如何发生变化尚需要进一步研究。

血浆GLU含量以及α-AMY和LDH活性是反映机体糖代谢的相关指标。血浆GLU含量受胰岛素和胰高血糖素的调节，与动物采食量、机体营养状况和应激水平也呈强相关[15]。血浆

α-AMY活性是反映机体消化吸收状况的一个重要指标，提高血浆α-AMY活性可提高机体的消化吸收能力和抗病力[16]。LDH是与组织能量代谢密切相关的酶，动物采食量降低、肠道或肌肉供能不足、细胞萎缩或凋亡，均可引起血浆LDH活性的升高[17]。本试验中，用FML替代10%和15%基础饲粮分别显著降低了60和75 kg育肥猪血浆GLU含量；5%和10%替代基础饲粮显著增加了60 kg育肥猪血浆α-AMY活性，15%替代显著降低了75 kg育肥猪血浆α-AMY活性，5%替代显著增加了110 kg育肥猪血浆α-AMY活性。此外，与5%替代相比，10%和15%替代显著降低了110 kg育肥猪血浆α-AMY活性；10%和15%替代显著降低了75 kg育肥猪血浆LDH活性。这提示饲粮添加FML能提高育肥猪的消化吸收能力，促进机体的能量代谢。这可能是FML中含有的各种活性成分促进了育肥猪肠道益生菌的增殖，进而改善了饲粮中的能量利用效率[18]。而用FML替代部分基础饲粮并不影响育肥猪的生长性能，且添加5%的FML可显著增加平均日增重，显著降低料重比。

AST主要存在肝细胞胞浆和线粒体中，其活性的高低直接与肝细胞或线粒体的损伤程度相关。ALT是机体内重要的转氨酶，在氨基酸代谢以及蛋白质、脂肪和糖的代谢转化过程中发挥着重要作用[19]。本试验中，用FML部分替代基础饲粮尤其是15%替代显著降低了75和110 kg育肥猪血浆AST活性，10%替代显著降低了75 kg育肥猪血浆AST活性；5%和10%替代显著降低了60和100 kg育肥猪血浆ALT活性，15%替代显著降低了75和100 kg育肥猪血浆ALT活性，这与前述FML可增加机体蛋白质合成和改善机体能量代谢这一结果相符。这提示FML替代部分基础饲粮可对育肥猪肝功能产生有利影响，且其作用效果与替代量有关，这可能与发酵酒糟中含有的多种功能性多肽和未知生长因子有关[6]。

动物机体中存在的清除氧自由基的酶系统主要包括SOD、GSH-Px和CAT，其活性高低反映了机体抗氧化能力的强弱[20]；GSH可清除自由基、去除氢和脂质过氧化物，防止生物分子的氧化[21]；MDA是自由基作用于脂质发生过氧化反应的终产物，其含量增加与自由基生成异常或机体抗氧化能力降低有关，因此其含量高低能直接反映细胞膜被氧化的程度[22]。本试验中，用FML替代15%基础饲粮可显著提高75 kg育肥猪血浆CAT、SOD和GSH-Px活性，显著提高60 kg育肥猪血浆GSH-Px活性和GSH含量，并显著降低60 kg育肥猪血浆MDA含量，表明FML可增强机体抗氧化功能并减少氧化损伤。这可能与其中含有GSH、维生素B_2、维生素C、维生素E、硒和锌等多种生物活性物质有关[23]。肌肉中的脂质氧化会影响肉品质，增强育肥猪机体抗氧化能力有助于减少肌肉中的脂质氧化和细胞膜的损伤，这可能是饲粮添加FML改善肉品质的机制之一。

4 结　论

用 FML 部分替代基础饲粮可影响育肥猪的机体代谢和抗氧化能力，其作用效果与替代剂量有关。其中，15%替代可显著改善 75 和 110 kg 育肥猪的机体氮代谢能力，增强 60 kg 育肥猪的机体抗氧化能力。

参考文献：

[1] 张轩,赵述淼,陈海燕,等.酿酒酵母固态发酵白酒糟生产蛋白饲料的研究[J].饲料工业,2012,33(19):27-31.

[2] 王晓力.白酒糟生产高蛋白饲料研究进展及前景[J].中兽医医药杂志,2013,32(6):34-36.

[3] 陈颀,包显颖,苏云,等.白酒糟酿酒酵母培养物营养成分分析及其在猪饲料中的应用价值评估[J].动物营养学报,2017,29(8):2826-2835.

[4] 崔耀明,董晓芳,佟建明.我国食品及制造业糟渣类饲料资源的应用[J].动物营养学报,2014,26(7):1728-1737.

[5] 张玉诚,薛白,达勒措,等.混菌固态发酵白酒糟开发为蛋白质饲料的条件优化及营养价值评定[J].动物营养学报,2016,28(11):3711-3720.

[6] LUMPKINS B S,BATAL A B.The bioavailability of lysine and phosphorus in distillers dried grains with solubles[J].Poultry Science,2005,84(4):581-586.

[7] 卢向阳,饶力群,彭丽莎,等.酒糟单细胞蛋白饲料生产技术研究[J].湖南农业大学学报（自然科学版）,2001,27(4):317-320.

[8] 李芳香,张稳,郁建平,等.茅台酱香型酒糟基本成分的测定与分析[J].贵州农业科学,2016,44(9):114-116.

[9] 黎智华,李华伟,张婷,等.发酵中药渣对妊娠母猪繁殖性能、血浆生化参数和抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2017,29(7):2416-2422.

[10] 李华伟,姬玉娇,张婷,等.发酵中药渣对围产期母猪和哺乳仔猪血浆生化参数和抗氧化指标的影响[J].天然产物研究与开发,2017,29(9):1580-1586.

[11] 王伦学,周明,张新,等.白酒糟酵母培养物在畜禽和反刍动物生产上的应用[J].饲料工业,2016,37(16):41-46.

[12] 杨凤.动物营养学[M].北京:中国农业出版社,2004:271-281.

[13] STANLEY C C,WILLIAMS C C,JENNY B F,et al.Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in Holstein and Jersey calves[J].Journal of Dairy Science,2002,85(9):2335-2343.

[14] 韩丽,潘杰,张婷,等.低聚木糖对生长肥育猪血浆生化参数和肌肉脂肪酸组成的影响[J].

动物营养学报,2017,29(9):3316-3324.

[15] 耿梅梅,印遇龙,孔祥峰,等.门静脉灌注葡萄糖对宁乡猪血液生化参数的影响[J].安徽农业科学,2010,38(5):2372-2375.

[16] 尹富贵,孔祥峰,刘合军,等.中草药对仔猪生长性能和血清生化参数的影响[J].中国科学院研究生院学报,2007,24(2):201-206.

[17] 谭兵兵,姬玉娇,丁浩,等.低聚木糖对断奶仔猪生长性能、腹泻率和血浆生化参数的影响[J].动物营养学报,2016,28(8):2556-2563.

[18] JAMI E,SHABTAY A,NIKBACHAT M,et al.Effects of adding a concentrated pomegranate-residue extract to the ration of lactating cows on in vivo digestibility and profile of rumen bacterial population[J]. Journal of Dairy Science,2012,95(10):5996-6005.

[19] LIU Y,KONG X,JIANG G,et al.Effects of dietary protein/energy ratio on growth performance, carcass trait, meat quality, and plasma metabolites in pigs of different genotypes[J].Journal of Animal Science and Biotechnology,2015,6(1):435-444.

[20] 戴五洲,胡晓龙,郑云林,等.饲粮中添加甘氨酸纳米硒对肥育猪血清和组织器官抗氧化能力及硒含量的影响[J].动物营养学报,2018,30(3):1-9.

[21] 苏家宜,孔祥峰,胡诚军,等.芪楂口服液药渣发酵前后对断奶仔猪血浆生化参数和抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2017,29(6):2092-2099.

[22] CHEN Y,HU J,LYU Q,et al.The effects of Natucin C-Natucin P mixture on blood biochemical parameters, antioxidant activity and non-specific immune responses in tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J].Fish & Shellfish Immunology,2016,55:367-373.

[23] 张爱忠,卢德勋,姜宁,等.酵母培养物对绒山羊机体抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2010,22(3):781-786.

Effects of Fermented Distiller's Grains on Plasma Biochemical Parameters and Antioxidant Indices of Finishing Pigs

ZHANG Wanghong[1,2] LI Huawei[1] ZHU Qian[1,2] LI Zhihua[1] CHENG Runxi[3] KONG Xiangfeng[1*]

(1. *Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Laboratory of Animal Nutritional Physiology and Metabolic Process, Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Livestock and Poultry Production, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese*

Academy of Sciences, *Changsha* 410125, *China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*; 3. *Road Biological Technology (Gulin) Co., Ltd, Luzhou* 646509, *China*)

Abstract: This study was conducted to explore the possibility of dietary supplementation with fermented distiller's grains. We analyzed the effects of dietary substitution in a basal diet with different ratios of fermented *Mao-tai* lees (FML) on plasma biochemical parameters and antioxidant indices of finishing pigs. A total of 48 healthy Duroc×Large White×Landrace barrows with average body weight (BW) of (39.95±2.15) kg were used and randomly allocated to one of four groups with 12 replicates per group and 1 pig in each replicate, which were fed in an automatic feeding system. The pigs in the control group were fed a basal diet, and those in experiment groups were fed a diet with 5%, 10% or 15% FML to replace the equal ratio of basal diet, respectively. Eight pigs per group were randomly selected when they gained 60, 75 and 110 kg of average BW, and blood samples were collected by precaval vein. The plasma was obtained by centrifuging for analyzing biochemical parameters and antioxidant indices. The results showed that, in pigs with 60 kg BW, compared with the control group, the plasma low density lipoprotein-cholesterol (LDH-C) content and α-amylase (α-AMY) activity were significantly increased ($P<0.05$), while the plasma alanine aminotransferase (ALT) activity was significantly decreased ($P<0.05$) in 5% substituted group; the plasma α-AMY activity was significantly increased ($P<0.05$), while the plasma glucose (GLU) content and ALT activity were significantly decreased ($P<0.05$) in 10% substituted group; the plasma TG content, glutathione peroxidase (GSH-Px) activity and glutathione (GSH) content were significantly increased ($P<0.05$), while the plasma malonaldehyde (MDA) content was significantly decreased ($P<0.05$) in 15% substituted group. In pigs with 75 kg BW, compared with the control group, the plasma LDL-C content and catalase (CAT) activity were significantly increased ($P<0.05$), while the plasma high density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) content was significantly decreased ($P<0.05$) in 5% substituted group; the plasma LDL-C content and activities of CAT and GSH-Px were significantly increased ($P<0.05$), while the plasma activities of aspartate aminotransferase (AST) and lactate dehydrogenase (LDH) were significantly decreased ($P<0.05$) in 10% substituted group; the plasma activities of CAT, superoxide dismutase (SOD) and GSH-Px were significantly increased ($P<0.05$), while the plasma contents of UN, HDL-C and GLU as well as activities of α-AMY, AST and LDH

were significantly decreased (P<0.05) in 15% substituted group. In pigs with 110 kg BW, compared with the control group, the plasma ALT activity was significantly decreased (P<0.05), the plasma α-AMY activity was significantly increased (P<0.05), while the plasma UN content was significantly decreased (P<0.05) in 5% substituted group; the plasma total protein content were significantly increased (P<0.05), while the plasma UN content and ALT activity were significantly decreased (P<0.05) in 10% and 15% substituted groups. In addition, the plasma AST activity in 15% substituted group was significantly decreased (P<0.05). Collectively, these findings suggest that dietary FML supplementation can alter the metabolism and antioxidant capacity of finishing pigs, depending on the replacement ratio in diet; dietary supplementation with 15% FML to replace the equal ratio of basal diet improves the nitrogen metabolism of pigs with 75 and 110 kg BW and enhances the antioxidant capacity of pigs with 60 kg BW.

Key words: yeast fermentation; *Mao-tai* lees; plasma biochemical parameters; antioxidant indices; finishing pigs

---

*Corresponding author, professor, E-mail: nnkxf@ isa.ac.cn (责任编辑　田艳明)